

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-28458

(P2001-28458A)

(43) 公開日 平成13年1月30日 (2001.1.30)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

マークシート (参考)

C 5 F 0 4 1

F

審査請求 有 請求項の数18 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平11-267827

(22) 出願日 平成11年9月21日 (1999.9.21)

(31) 優先権主張番号 特願平10-267028

(32) 優先日 平成10年9月21日 (1998.9.21)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平11-127178

(32) 優先日 平成11年5月7日 (1999.5.7)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 山田 元量

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

学工業株式会社内

F ターム (参考) 5F041 AA11 AA12 CA05 CA34 CA40

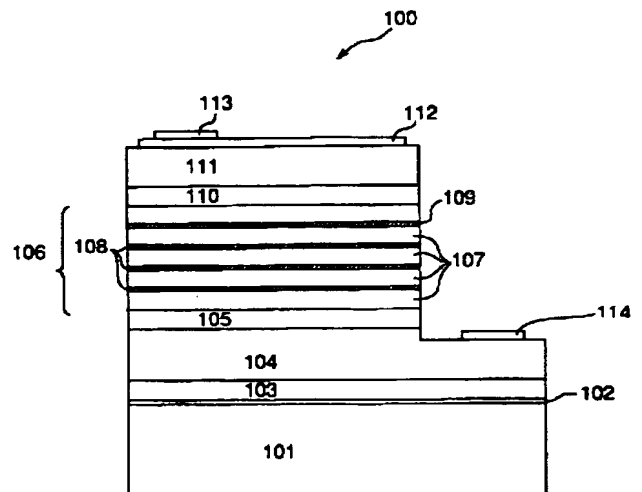
CA65 CA74

(54) 【発明の名称】 発光素子

(57) 【要約】

【課題】 3-5 族窒化物化合物半導体を用いた発光素子に関し、特に、異なる色を発する井戸層を積層し、それらの発光を混色して、所望の演色性を有する光を発する発光素子を提供する。

【解決手段】 本発明による活性層は、I nを含む窒化物化合物半導体からなる少なくとも1つの第1の井戸層と、第1井戸層が発する光の主ピーク波長よりも長い主ピーク波長の光を発する、I nを含む窒化物化合物半導体からなる少なくとも1つの第2の井戸層と、を備える。これにより、例えば第1井戸層が青色光を、第2井戸層がその補色関係にある黄色光を発光すると、これらの光が混色することにより、1つの発光素子で白色光源を提供することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 I_n を含む窒化物化合物半導体からなる少なくとも 1 つの第 1 の井戸層と、該第 1 井戸層が発する光の主ピーク波長よりも長い主ピーク波長の光を発する、 I_n を含む窒化物化合物半導体からなる少なくとも 1 つの第 2 の井戸層と、を備えた、多重量子井戸構造の活性層を、 n 型半導体および p 型半導体で挟持することを特徴とする発光素子。

【請求項 2】 上記第 2 井戸層が、上記第 1 井戸層および上記 p 型半導体の間に配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 3】 上記第 1 および第 2 井戸層の積層数比を調整して、上記第 1 および第 2 井戸層が発する光の光度比を制御することにより、所望の演色性を有する光源を提供することを特徴とする請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 4】 さらに、上記活性層が上記第 1 および第 2 井戸層を挟む複数の障壁層を備え、上記障壁層の厚みを調整して、上記第 1 および第 2 井戸層が発する光の光度比を制御することにより、所望の演色性を有する光源を提供することを特徴とする請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 5】 上記第 1 井戸層が上記第 2 井戸層よりも多く積層されることを特徴とする請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 6】 上記第 1 井戸層が発する光のスペクトル半値幅が上記第 2 井戸層が発する光のスペクトル半値幅よりも狭いことを特徴とする請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 7】 上記第 1 井戸層が 2 層以上 10 層以下の範囲で積層され、上記第 2 井戸層が 1 層以上 3 層以下の範囲で積層されることを特徴とする請求項 5 に記載の発光素子。

【請求項 8】 上記第 1 井戸層が発する光の主ピーク波長が 450 ないし 500 nm で、上記第 2 井戸層が発する光の主ピーク波長が 560 ないし 670 nm であることを特徴とする請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 9】 上記第 1 井戸層よりも第 2 井戸層の凹凸の度合いが大きいことを特徴とする請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 10】 上記第 2 井戸層が、その平均膜厚の半分以下の膜厚を有する部分的に薄い凹部を含み、該凹部の領域が全体の 10% 以上占めることを特徴とする請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 11】 上記第 2 井戸層が、その平均膜厚の半分以下の膜厚を有する部分的に薄い凹部を含み、該凹部の領域が全体の 10% 以上占めることを特徴とする請求項 9 に記載の発光素子。

【請求項 12】 上記第 2 井戸層が、上記第 1 井戸層および上記 p 型半導体の間に配置されることを特徴とする請求項 9 に記載の発光素子。

【請求項 13】 上記第 2 井戸層が、上記第 1 井戸層および上記 p 型半導体の間に配置されることを特徴とする請求項 10 に記載の発光素子。

【請求項 14】 上記第 2 井戸層が、上記第 1 井戸層および上記 p 型半導体の間に配置されることを特徴とする請求項 11 に記載の発光素子。

【請求項 15】 上記第 1 井戸層が上記第 2 井戸層よりも多く積層されることを特徴とする請求項 12 に記載の発光素子。

【請求項 16】 上記第 1 井戸層が上記第 2 井戸層よりも多く積層されることを特徴とする請求項 13 に記載の発光素子。

【請求項 17】 上記第 1 井戸層が上記第 2 井戸層よりも多く積層されることを特徴とする請求項 14 に記載の発光素子。

【請求項 18】 上記第 1 および第 2 井戸層の各々の上に、 A_1 を含む窒化物化合物半導体からなる第 1 障壁層と、 A_1 を実質的に含まない窒化物化合物半導体からなる第 2 障壁層とを有する請求項 1 に記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、3-5 族窒化物化合物半導体（一般に、 $I_n x A_1 y G a_{1-x-y} N$ ($0 < x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で表される）を用いた発光素子に関し、特に、異なる色を発する井戸層を積層し、それらの発光を混色して、所望の演色性を有する光を発する発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 これまで、極めて高い輝度で赤色、緑色、および青色（いわゆる RGB）を発光する発光素子が開発されたことにより、高輝度タイプ発光素子が量産されるようになった。特に、窒化物半導体を用いた発光素子は、その混晶比を変えることにより紫外域から赤色領域まで発光色を調整することができる。

【0003】 一方、発光素子の高輝度、低消費電力、小型化可能や高信頼性などの優れた特性を活かして、例えば、車載メータの光源、液晶バックライト光源や各種照明などの技術分野で、その利用が急速に広がりつつある。

【0004】 このような発光素子の利用分野において、特に白色が人間の目には快適で好感を与える色であり、特に需要が高い。これまで白色光を実現するためには、赤色、緑色および青色、あるいは青色および黄色などの異なる発光色を有する複数の発光素子を同一システム上に配置して、それら発光色の混色により希望の白色光を得るか、あるいは、青色発光する発光素子とその補色関係にある黄色で蛍光発光する蛍光物質とを用いて白色光を得ていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、複数の発光素

子を同一システム上に配置して白色光を得る場合、混色性（光を混合したときに1つの色として一様に見える見え方）を向上させるために複数の発光素子同士を近づける必要があるが、これには限界がある。また、異なる系の半導体材料を利用した場合、温度特性や駆動電圧が異なるなど、種々の問題が生じる。同様に、蛍光体を利用して白色光を得る場合、発光素子に蛍光体を付着させる必要があり、工程が複雑となる。また、発光素子からの青色発光と、これにより励起される蛍光発光との組み合わせで白色光を得る場合、複数の発光素子で白色光を得る場合と比較して、理論上発光効率が低くなる。

【0006】したがって、従来式の各種光源を固体発光素子に置き換えるためには、現在ある上記構成の発光素子では十分ではなく、さらに高効率かつ高輝度に白色発光可能な発光素子を提供することが求められている。本発明は、上記問題を解決するために、1つの発光素子により、高効率かつ高輝度に白色系などの発光色を発光できる発光素子を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の目的は、少なくとも2つのIn組成比が異なる含む窒化物化合物半導体からなる井戸層を有してなる、白色光を得るための発光素子を提供することにある。

【0008】本発明の第2の目的は、第1の井戸層の凹凸を第2の井戸層よりも大きくして、発光効率の改善された発光素子を提供することにある。

【0009】本発明の第3の目的は、各井戸層の上にAlを含む第1障壁層、その上にAlを含まない第2障壁層を形成して、順方向電圧を下げ、そして発光効率の改善された発光素子を提供することにある。

【0010】本発明の請求項1に記載の発光素子は、Inを含む窒化物化合物半導体からなる少なくとも1つの第1の井戸層と、第1井戸層が発する光の主ピーク波長よりも長い主ピーク波長の光を発する、Inを含む窒化物化合物半導体からなる少なくとも1つの第2の井戸層と、を備えた、多重量子井戸構造の活性層を、n型半導体およびp型半導体で挟持することを特徴とするものである。

【0011】第1井戸層が発する主ピーク波長と、第2井戸層が発する主ピーク波長とを、互いに補色関係となるように設定すると、これら2つの光が混合することで白色光が得られる。

【0012】本発明の請求項2に記載の発光素子は、第2井戸層が、第1井戸層およびp型半導体の間に配置されることを特徴とする。

【0013】一般に、Inを含む窒化物半導体を形成することは極めて難しく、井戸層のIn組成比を増やして発光波長を長くするほど、その結晶性が悪くなり、その発光効率も低くなる。この傾向はInの組成比が0.05以上のとき顕著となる。特に、窒化物半導体の多重量子

井戸構造においては、ホール拡散長が短い。ただしp型半導体層側においては電子-正孔の再結合効率が高いので、Inを多く含むために結晶性が比較的悪い第2井戸層を、このp型半導体層側に配置させることにより、つまり第2井戸層を第1井戸層とp型半導体との間に配置することにより、第2井戸層の発光効率を向上させることができる。

【0014】本発明の請求項3に記載の発光素子は、第1および第2井戸層の積層数比を調整して、第1および第2井戸層が発する光の光度比を制御することにより、所望の演色性（物体の色の見え方に対する光源の効果）を有する光源を提供することを特徴とする。

【0015】これまでの白熱灯及び蛍光灯などの光源も、その用途によりさまざまな演色性を有する光源として開発されてきた。例えば、異なる色あいで照明する蛍光灯が数多くある。従来式的光源にとって代わるべき本発明に係る発光素子の演色性も、比較的簡単に微調整できることが望まれていた。

【0016】すなわち、本発明においては、第1および第2井戸層の積層数比を調整することにより、各井戸層が発する光の光度比率を比較的簡単に制御することができる。これ以外の方法として、例えば、井戸層の膜厚を制御することにより各井戸層が発する光の光度比率を制御することもできる。しかし、活性層が量子井戸構造を有する場合、井戸層の厚みを薄くすると、光度をある程度増やすことができるが、量子サイズ効果のため光が短波長側に移動してしまう。同様に、井戸層の厚みを厚くすると、光度をある程度下げることができるが、光が長波長側に移動する。いずれにしても、所望の発光波長を得ることが極めて難しいという問題が生ずる。

【0017】本発明の請求項4に記載の発光素子は、さらに、活性層が第1および第2井戸層を挟む複数の障壁層を備え、障壁層の厚みを調整して、第1および第2井戸層が発する光の光度比を制御することにより、所望の演色性を有する光源を提供することを特徴とする。

【0018】第1および第2井戸層の積層数比のみならず、障壁層の厚みを調整することにより、各井戸層が発する光の光度比率を制御して、同様に所望の演色性を有する光源を提供することができる。

【0019】本発明の請求項5に記載の発光素子は、第1井戸層が第2井戸層よりも多く積層されることを特徴とする。

【0020】とりわけ、第2井戸層が第1井戸層よりもp型半導体に近い位置に積層される場合、第1井戸層が発する光は、第2井戸層で吸収されて、その光度が低下する。そこで、第1井戸層を第2井戸層よりも多く積層することにより、比較的簡単に所望の演色性を有する白色光を得ることができる。

【0021】本発明の請求項6に記載の発光素子は、第1井戸層が発する光のスペクトル半値幅が上記第2井戸

層の発する光のスペクトル半値幅よりも狭いことを特徴とする。

【0022】主ピーク波長が青色領域にある第1井戸層と、主ピーク波長が黄色領域にある第2井戸層と、を有する発光素子の場合、この発光素子が発する光は、緑色および赤色領域の波長成分を全くまたは殆ど有さないために、その演色性が良好とならないことがある。したがって、第2井戸層が発する光の発光スペクトルを、第1井戸層のそれより広くしておくことが好ましい。この結果、発光効率を損なうことなく、この発光素子が発する光の平均演色評価数Raを改善することができ、つまり高輝度、かつ高演色性の白色光を発光可能な発光素子を形成することができる。なお、当業者には明らかなように、スペクトル半値幅は、例えば、井戸層の結晶性を調整したり、不純物を添加したりすることによって、制御することが可能である。

【0023】本発明の請求項7に記載の発光素子は、第1井戸層が2層以上10層以下の範囲で積層され、上記第2井戸層が1層以上3層以下の範囲で積層されることを特徴とする。

【0024】本発明の請求項8に記載の発光素子は、第1井戸層が発する光の主ピーク波長が450ないし500nmで、第2井戸層が発する光の主ピーク波長が560ないし670nmであることを特徴とする。

【0025】本発明の請求項9に記載の発光素子は、第1井戸層よりも第2井戸層の凹凸の度合いが大きいことを特徴とする。

【0026】一般に、多重量子井戸構造の井戸層は、障壁層との界面が平坦で、結晶性が良好であるほど、その発光効率は高い。しかし、本発明の発光素子のように、異なる発光ピーク波長を発する井戸層を含む多重量子井戸構造の活性層においては、井戸層が障壁層を挟んで隣り合う状態にあるために、何らかの相互作用が働くと考えられる。すなわち、本発明者は、長波長発光の第2井戸層の凹凸の度合いを、短波長発光の第1井戸層よりも大きくすると、第1井戸層が発する短波長光は、第2井戸層で吸収されにくくなることを確認した。また、この条件のもとで、後述するように、第2井戸層の凹凸の度合いを最適化することにより、第2井戸層が発する長波長発光の発光効率も上げることができ、発光素子としての発光効率を上げることができる。

【0027】第1および第2井戸層の凹凸の度合いを比較する手法の一例を示す。まず、発光素子を層厚方向に垂直な方向に切断して、この断面における井戸層および障壁層の間の界面が呈する凹凸を走査型電子顕微鏡などにより比較する。両者の凹凸の度合い若しくは粗さの違いを、顕微鏡確認するだけで明白に確認できることもある。また、その違いが明らかなでないような場合には、後述する凹部領域が占める度合いRで比較してもよいし、井戸層の上面または下面の少なくとも一方の面につい

て、GIXR (Grazing Incidence X-Ray Reflection: 斜入射X線反射率分析法) による薄膜解析によりラフネスを比較して凹凸の大小を判断してもよい。尚、第1および第2井戸層が複数の井戸層を有する場合、少なくとも1つの第2井戸層が、少なくとも1つの第1井戸層よりも凹凸の度合いが大きければよい。第2井戸層の全てが、第1井戸層の全てよりその凹凸の度合いが大きいことが望ましい。ただし上述のように、井戸層の結晶性およびその成長形態は、主にIn含有量に依存するため、第1および第2井戸層が複数あっても、その凹凸はそれぞれほぼ同等なものとなる。

【0028】また、第2井戸層の凹凸が第1井戸層のそれに比べて大きくなるように形成することは、第2井戸層の結晶性の面からも好ましい。すなわち、第2井戸層の凹凸の度合いが第1井戸層のそれに比べて大きい場合(第2井戸層だけに凹凸が設けられている場合を含む)に比べて、第1井戸層の凹凸の度合いが第2井戸層のそれに比べて大きい場合の第2井戸層の結晶性は極めて悪い。ウェーハの全体または一部領域において、均一な膜厚を有する第2井戸層を形成するのが困難となり、さらに第2井戸層の結晶が成長しない領域が生じることもある。これに対して、第2井戸層の凹凸の度合いが第1井戸層よりも大きい場合には、第2井戸層は比較的一定に形成される。したがって、第2井戸層の凹凸の度合いを第1井戸層よりも大きくすることにより、発光素子の特性向上に寄与しているものと考えられる。更に、このような場合、第1および第2井戸層は、共に良好な結晶性を有し、さらに膜厚も一定している。その結果、各井戸層からの光の光度比も安定し、得られる発光素子間の輝度むらおよび色調ズレなどの問題も大きく改善される。

【0029】尚、当業者には明らかなように、第1および第2井戸層は、例えば成膜速度、成膜温度などの成膜条件を制御することで、その凹凸の度合いを変えることができる。上記以外の成膜条件を変えることにより、各井戸層の凹凸の度合いを変えてもよい。

【0030】上述のように、第2井戸層の凹凸の度合いが第1井戸層のそれに比べて大きい場合、発光素子としての発光効率が向上する。第1および第2井戸層の凹凸の度合いの各々と、その発光効率との厳密な関係は定かでない。しかし、より短い主ピーク波長の光を発する第1井戸層と、より長い主ピーク波長の光を発する第2井戸層とでは、その凹凸の度合いによる発光効率に対する寄与が異なるものと考えられる。すなわち、多重量子井戸の活性層に含まれる井戸層におけるIn含有量、積層数、および第1および第2井戸層の配置関係等が、井戸層の凹凸の度合いと密接に関係して、素子特性に影響を与えていると思われる。凹凸の度合いによる発光効率に対する寄与度に違いがあるので、第1および第2井戸層の最適な凹凸の度合いにも違いが生じる。さらに、第2井戸層の凹凸の度合いを第1井戸層のそれより大きくす

ることにより、発光素子の特性を向上させることができる。つまり、第1および第2井戸層の凹凸の度合いが同程度であるか、または第1井戸層の凹凸の度合いが第2井戸層のそれより大きい場合と比べて、第2井戸層の凹凸の度合いが第1井戸層のそれより大きい場合の発光素子の特性は良好でない。これは、発光素子の特性向上が、各井戸層の凹凸の度合いそのものよりも、各井戸層の凹凸の度合いの大小関係に主に依存することを示している。加えて、第2井戸層の凹凸の度合いが第1井戸層のそれより大きい場合、各井戸層からの光の光度比が一定するため、所望の演色性を有する光源を容易に得ることができる。このことは上述の良質の結晶性が主に関係しているものと思われる。その上、第1井戸層からの発光については、第2井戸層に凹凸があることによる光の取り出し効率の向上だけでなく、光の光度そのものが向上する傾向があり、また第2井戸層についても僅かながらもそのような傾向がある。以上のように、各発光層の凹凸およびその大小関係は、相乗的な効果により、素子全体の発光効率を引き上げ、第1井戸層からの発光が効率よく得られ、結果的に所望の演色性を有する光源を提供することができる。

【0031】本発明の請求項10および11に記載の発光素子は、第2井戸層が、その平均膜厚の半分以下の膜厚を有する部分的に薄い凹部を含み、この凹部の領域が全体の10%以上占めることを特徴とする。

【0032】ここで、全体に対する上記凹部領域の占める度合いの計測手法の一例について図6を参照しながら説明する。まず、発光素子を層厚方向に垂直な方向に切断して、井戸層断面を走査型電子顕微鏡などにより観察する。井戸層はその平均膜厚の半分以下の膜厚を有する部分的に薄い凹部を含むが、この凹部の長さの総和Sを特定の範囲（長さL）を測定する。そして特定範囲における凹部領域が占める度合いRを、式 $R = S / L$ で求める。ここで、測定する領域（長さL）は、短くとも1 μ m程度あれば充分であるが、10 μ m以上程度あれば、さらに再現性よく凹部領域が占める度合いRを計測でき、好ましい。また、平均膜厚は、上記測定範囲Lにおける井戸層の平均膜厚を求めれば足り、これを素子全体における井戸層の平均膜厚として用いてもよい。さらに凹部領域の全体に占める度合いRは、一般に、発光素子全体で一様と考えられるから、任意の切断面において計測することができる。

【0033】本発明の請求項10および11に記載の発光素子は、換言すると、 $R \geq 0.1$ となるような第2井戸層を有することを特徴とする。第2井戸層の凹部領域が占める度合いRの値が0.1未満となるように形成される場合、つまり第2井戸層が比較的平坦な形状を有する場合には、第1井戸層からの発光光度が第2井戸層からのそれに比べて相対的に下がるだけでなく、発光素子全体の発光効率も低くなる。

【0034】複数の第2井戸層が積層される場合、上記条件式 $R \geq 0.1$ を満たす第2井戸層が、そのうち1層だけであっても第1井戸層の発光効率が向上するが、全ての第2井戸層が同条件を満たすことがなお望ましい。

【0035】なお、第2井戸層の凹部領域が占める度合いRが0.5よりも大きくなれば、第2井戸層の上に成長させるp型半導体層の平坦性が損なわれ、結果として発光素子の発光効率を低下する。したがって、第2井戸層の凹部領域が占める度合いRの上限を0.5として発光素子を形成すると、第1井戸層からの発光を効率よく取り出し、発光素子全体の発光特性も良好に維持される。

【0036】本発明の請求項12ないし14に記載の発光素子は、第1井戸層よりも凹凸の度合いが大きい、または $R \geq 0.1$ となるような第2井戸層が、第1井戸層およびp型半導体の間に配置されることを特徴とする。

【0037】上述の通り、In混晶比が高く結晶性の比較的悪い第2井戸層を、電子-正孔の再結合確率の高いp型半導体側に配置することにより、発光効率を向上させることができ、好ましい。

【0038】また、第1井戸層の凹凸の度合いが、第2井戸層と同程度である場合、または第2井戸層よりも大きい場合、ウェーハにおいて井戸層を均一に成膜しにくく、発光素子間で発光波長のばらつきが大きくなる。発光波長のばらつきが大きければ、所望の演色性を有する光源を信頼性よく生産することは難しい。したがって、この点からも、凹凸の度合いのより大きい第2井戸層が、第1井戸層およびp型半導体の間に配置されることが好適である。

【0039】本発明の請求項15ないし17に記載の発光素子は、第1井戸層が第2井戸層よりも多く積層されることを特徴とする。

【0040】とりわけ、第2井戸層が第1井戸層よりもp型半導体に近い位置に積層される場合、第1井戸層が発する光は、第2井戸層で吸収されて、その光度が低下する。そこで、第1井戸層を第2井戸層よりも多く積層することにより、比較的簡単に所望の演色性を有する白色光を得ることができる。また、比較的結晶性の悪い第2井戸層の数が少ないため、その上に続いて積層されるp型半導体の形成にも好ましい。

【0041】本発明の請求項18に記載の発光素子は、第1および第2井戸層の各々の上に、Alを含む窒化物化合物半導体からなる第1障壁層と、Alを実質的に含まない窒化物化合物半導体からなる第2障壁層とを有することを特徴とする。

【0042】

【発明の実施の形態】本発明は以下の詳細な説明および添付図面により明確に理解されるが、これらは単に例示的なものであって本発明の範囲を限定するものではない。

【0043】（発明の実施の形態1）In含有量の異なる少なくとも2つの窒化物化合物半導体からなる井戸層の発する少なくとも2色の光を、混色させることにより、白色などの光を得るようにしたものである。とりわけ、長波長で発光する井戸層を短波長で発光する井戸層よりもp型層側に設けることにより、発光効率の高い、所望の演色性を有する光源を提供することができる。

【0044】Inを含む窒化物半導体からなる井戸層は、Inの含有量に依存するそのバンドギャップエネルギーにはほぼ比例して短い波長の光を発する。しかしながら、窒化物半導体が含有するIn量が増えるにつれ、その結晶性が劣化して、発光効率が低下する傾向にある。つまり、第2井戸層は第1井戸層より低い発光効率を有する。また、窒化物半導体の多重量子井戸構造を有する井戸層は、ホール拡散長が短いので、p層半導体の近くに設けられた井戸層は、n層半導体の近くに設けられた井戸層よりも、電子-正孔の再結合確率が高い。

【0045】そこで、本発明の第1の実施例によれば、In含有量がより多いために結晶性の比較的良好でない第2井戸層を、In含有量がより少ないために結晶性の比較的良好な第1井戸層よりもp型半導体層に近く配置する。つまり、第2井戸層を第1井戸層とp型半導体層との間に配置する。こうして、より高輝度かつ優れた発光効率特性を有する発光素子を形成することができる。

【0046】（実施例1）ここで添付図面を参照しながら本発明の実施例1の発光素子を説明する。

【0047】図1は、本発明の発光素子100を示す模式的断面図である。発光素子100は、サファイア基板101上に、GaNバッファ層102、アンドープGaN層103、SiドープのGaNからなるn型コンタクト層兼クラッド層104、超格子層105、多重量子井戸構造からなる活性層106、MgドープのAlGaNからなるp型クラッド層110、MgドープのGaNからなるp型コンタクト層111が順に形成されている。また活性層106は、障壁層107とInGaNからなる第1の井戸層108および第2の井戸層109とから構成されており、p型コンタクト層111側にある第2井戸層109は、n型コンタクト層104側にある井戸層108よりもIn量を多く含有する。n型およびp型コンタクト層103および111にp側およびn側電極113、114を形成することで混色光が発光可能な発光素子100を形成することができる。次に、本発明に係る発光素子の形成方法について詳述する。

【0048】MOCVD法により窒化物半導体を成膜して発光素子を形成する。まず、洗浄した2インチのサファイア（C面）よりなる基板101をMOCVD装置の反応容器内にセットする。反応容器を真空化しつつ、H₂を流して容器内をH₂で十分置換した後、基板温度を1050℃まで上昇させて、基板101をクリーニング

アの他、R面、A面を主面とするサファイア、スピネル（MgAl₂O₄）のような絶縁性基板、SiC（6H、4H、3Cを含む）、Si、ZnO、GaAs、およびGaNなどの材料を用いることができる。

【0049】次に、成膜温度を510℃まで下げTMG（トリメチルガリウム）、NH₃を原料ガス、H₂をキャリアガスとして供給し、厚さ約150ÅのGaN層をサファイア基板101上に成膜して、バッファ層102を形成する。なお、バッファ層102はGaNの他、AlNやGaAlNなどの材料を利用することができる。

【0050】続いて、原料ガスの流入を一旦止め、キャリアガスを流しながら、基板温度を1050℃に上げる。成膜温度が安定した後、TMGおよびNH₃を原料ガス、H₂をキャリアガスとして流し、厚さ1.5μmのアンドープGaN層をバッファ層102上に積層する。

【0051】そして、成膜温度を1050℃に維持したまま、原料ガスとしてTMGおよびNH₃、キャリアガスとしてH₂、不純物ガスとしてSiH₄を流し、5×10¹⁸/cm³のSi不純物濃度を有するGaN層であるn型コンタクト層104を厚さ2.25μmでアンドープGaN層103上に形成する。

【0052】さらに、活性層106の結晶性を向上させ、均一に全面発光させるために、n型コンタクト層104上に超格子層105を形成することが好ましい。成膜温度を1050℃に維持した状態で、不純物ガスであるSiH₄の供給を制御することにより、厚さ約75ÅのアンドープGaN層と、厚さ約25ÅのSiドープGaN層とを成膜する。これを1周期として、25周期繰り返して総膜厚2500Åの超格子層105をn型コンタクト層104上に成膜する。なお、超格子層105を構成するSiドープGaN層は、互いに異なる不純物濃度（Si）を有し、いわゆる変調ドープされている。

【0053】次に、多重量子井戸構造の活性層106の構成を詳細に説明する。多重量子井戸構造の活性層106は、厚さ約250ÅのGaNからなる障壁層107と、厚さ約30ÅのInGaNからなる第1の井戸層108とを3周期繰り返して成膜した後、同様の厚さ約250ÅのGaNからなる障壁層107と厚さ約30ÅのInGaNからなる第2の井戸層109とを成膜することにより形成される。n型クラッド層105側に近い第1井戸層108は青色発光し、p型クラッド層110に近い第2井戸層109は黄色発光する。なお、活性層106の両端はGaNであることが望ましい。

【0054】さらに、多重量子井戸構造の活性層106の具体的な形成方法について説明する。MOCVD法を用いて成膜温度1050℃で、原料ガスとしてTMGおよびNH₃、キャリアガスとしてH₂を流すことにより、約250Åの厚さのGaN障壁層107を超格子層105上に成膜する。

【0055】続いて、原料ガスの流入を一旦止め、成膜温度を800℃に調整した後、再び原料ガスとしてTMG、TMI（トリメチルインジウム）およびNH₃、キャリアガスとしてN₂を流すことにより、約30Åの厚さのIn_{0.5}Ga_{0.5}Nを成膜する。

【0056】その後、成膜温度を1050℃とし原料ガスとしてTMGおよびNH₃、キャリアガスとしてH₂を流すことにより、約250Åの厚さのGaN障壁層107を第1井戸層108の上に成膜する。これを1周期として3周期繰り返し積層する。

【0057】続いて、原料ガスの流入を一旦止め、成膜温度を800℃に調整した後、再び原料ガスとしてTMG、TMI（トリメチルインジウム）およびNH₃、キャリアガスとしてN₂を流すことにより、約30Åの厚さのIn_{0.8}Ga_{0.2}Nを成膜して第2の井戸層109を形成する。第2井戸層109は、TMI（トリメチルインジウム）流量比を第1井戸層108を成膜する場合に比べて大きくすることにより、第1井戸層108よりも多くInを含有するように形成されている。

【0058】なお、発光層である井戸層108は、ノンドープ、あるいはMgやZnなどのアクセプタ不純物、Siなどのドナー不純物を含有してもよい。さらには、ドナー不純物およびアクセプタ不純物を同時に含有させることもできる。

【0059】活性層106を成膜後、超格子構造を有するp型クラッド層110を形成する。厚さ約40ÅのMgドープのAlGa_{0.9}N層と厚さ約25ÅのMgドープInGa_{0.9}N層とを成膜する。これを1周期として繰り返し5周期成膜することにより、p型クラッド層110を形成する。具体的には、MOCVD法により成膜温度を1050℃とし、原料ガスとしてTMG、TMA（トリメチルアルミニウム）およびNH₃、不純物ガスとしてCp₂Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）、そしてキャリアガスとしてH₂を流すことにより、厚さが約40ÅのAlGa_{0.9}N層を成膜する。次に、原料ガスの流入を一旦止め、成膜温度を850℃に調整した後に、再び原料ガスとしてTMG、TMI、およびNH₃、不純物ガスとしてCp₂Mg、そしてキャリアガスとしてN₂を流すことにより、厚さ約25ÅのInGa_{0.9}N層を成膜する。これを5周期繰り返し、約325Åの厚さを有する超格子構造のp型クラッド層110を成膜する。なお、p型クラッド層110は、このように超格子構造を有していてもよいが、AlGa_{0.9}NやAlBGaNなどの単層構造を有していてもよい。

【0060】そして、成膜温度を1050℃とし、原料ガスとしてTMGおよびNH₃、キャリアガスとしてH₂、そして不純物ガスとしてCp₂Mgを流し、1×10²⁰/cm³のMg不純物濃度を有するGaN層であるp型コンタクト層111を、2.25μmの膜厚でp型クラッド層110上に形成する。p型クラッド層11

0形成後、温度を室温まで下げ、窒素雰囲気中でウェーハを700℃でアニーリング処理し、p型層をさらに低抵抗化する。

【0061】アニーリング処理後、ウェーハを反応容器から取り出し、所望の形状のマスクを最上層のp型コンタクト層111の表面に形成し、RIE（反応性イオンエッチング）装置でp型コンタクト層111側からエッチング処理を行い、p型およびn型半導体表面を露出させる。

10 【0062】エッチング処理後、スパッタリング装置によりp型コンタクト層111のほぼ全面に膜厚200ÅのNiとAuを含むp型電極112と、p型電極112の上にボンディング用のAuよりなる0.5μmの膜厚のp型パッド電極113と、を形成する。他方、エッチング処理により露出したn型コンタクト層104上に、WとAlとを含むn型電極114を形成する。最後に、p型電極112の表面を保護するためにSiO₂よりなる絶縁層（図示せず）を保護膜として形成する。こうして形成された窒化物半導体ウェーハをスクライブラインを引いた後、外力により分割し、発光素子として350μm角のLEDチップを完成する。

20 【0063】このように、本発明の発光素子は、一般に、多重量子井戸構造の活性層を有し、この活性層はInを含む窒化物半導体からなる第1井戸層108と第2井戸層109を有する。このとき、第2井戸層109は、第1井戸層108から放出される主ピーク波長よりも長波長の主ピーク波長を放出するものである。本発明による井戸層は、Inを含む窒化物半導体として、例えば、In_xAl_yGa_{1-x-y}N（0<X、0≤Y、X+Y≤1）で形成され、好ましくは三元混晶のIn_xGa_{1-x}N（0<X<1）で形成される。なぜなら、InGaAlN等の他の窒化物半導体に比べて、InGa_{0.9}Nは成膜表面に凹部領域、または凹凸を有していても比較的良好な結晶性を有する井戸層として形成されるためである。本発明の多重量子井戸構造の活性層はさらに、第1井戸層108、第2井戸層109もしくはその他の井戸層よりバンドギャップの大きな窒化物半導体よりなる障壁層107を有し、これら井戸層108、109とその間に挟まれる障壁層107とを積層して形成される。障壁層107は、特に限定されないが、GaN、InGa_{0.9}N、AlGa_{0.9}N等の材料により、井戸層108、109より厚く、例えば数百Å程度の膜厚を有するように形成される。また、第1井戸層108および第2井戸層109の膜厚としては、特に限定されないが、例えば100Å以下の膜厚を有することが好ましく、さらに好ましくは70Å以下、最も好ましくは50Å以下の膜厚に調整する。100Åよりも厚いと、井戸層が弾性歪み限界以上の膜厚となり、井戸層中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすい。

50 【0064】また、p型半導体およびn型半導体とし

て、特に限定されないが、例えば窒化物半導体からなるp導電型およびn導電型の半導体を用いることができる。本発明の窒化物半導体の材料組成は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) と表され、上述の通り、p型導電性またはn型導電性を有するように、p型またはn型不純物をドーピングする。

【0065】発光ダイオードランプのリードフレームは、銀メッキした鉄入り銅で形成される。リードフレームの一方は、LEDチップを配置するためのカップを有するマウント・リードで、他方は、LEDチップの一方の電極とワイヤを介して電氣的に接続するインナー・リードを有する。エポキシ樹脂を用いて、LEDチップをマウント・リード上にダイボンディングした後、LEDチップのp電極およびn電極に直径 $3.5\mu\text{m}$ の金線ワイヤの一方をボールボンディングし、他方をリードフレームの先端にステッチボンディングする。これにより、LEDチップの各電極とインナー・リードおよびマウント・リードとをそれぞれ電氣的に接続する。

【0066】こうして得られた発光ダイオードランプに20mA ($V_f = 3.5\text{V}$) の順方向電流を流したところ、図3に示すように、CIEの色度図上の座標が $(X, Y) = (0.333, 0.314)$ で表され、色温度が約6000Kである発光スペクトルを有する白色光が得られる。このとき、第1および第2井戸層108、109から、各々約470nmおよび約575nmの波長を有する発光が確認される。また、第2井戸層109が発する発光スペクトルは、第1井戸層108が発する発光スペクトルに比べて半値幅が広く、演色性に優れている。なお、本発明に係る発光素子は、異なる発光スペクトルを発する井戸層が2つに限定されるものではなく、それ以上の井戸層を設けることもできる。これにより、発光素子全体としてのスペクトル幅を広げることができる。

【0067】本発明の効果を実証するために、比較実験を行った。つまり、第1および第2の井戸層108、109の積層順序を入れ替えて形成した以外は同様にして、発光ダイオードランプを形成した。この発光ダイオードランプの輝度はより暗く、その発光色は青みがかった見えた。これは、In含有量の多い第2発光層109からの光度が減少し、第1井戸層108の結晶性が結晶性のより悪い第2井戸層109に引きずられて悪化したために第1井戸層108の光度も低下したためと考えられる。

【0068】(実施例2) 次に、青色発光の第1井戸層208を1層追加して、合計4層とした以外は実施例1と同様にして、発光素子200を形成した。こうして得られた発光素子200の発光色は、実施例1の発光素子100に比べて色温度が上昇し青みがかった見えた。同様に、青色発光する第1井戸層を2層追加して、合計5層とした以外は実施例1と同様にして、形成した発光素

子の発光色はさらに青みがかった見えた。実施例1による発光素子100 (第1井戸層108が3層、第2井戸層109が1層) および実施例2による発光素子200 (第1井戸層208が4層、第2井戸層209が1層) が発する発光スペクトルの色度図上の座標を図3に示す。すなわち、第1井戸層108および第2井戸層109の積層数比を調整することにより、希望するCIE色度図座標および色温度を有する混色光を得ることができる。

【0069】(実施例3) 第1井戸層108を挟む障壁層107の厚みをそれぞれ約250Åから約300Åとした以外は実施例1と同様にして、発光素子100を形成した。こうして得られた発光素子100に順方向電流を流したところ、第2井戸層109が発する光の強度はほぼ同じであるのに対し、第1井戸層108が発する光の強度は増加した。

【0070】(実施例4) 第2井戸層109を挟む障壁層107の厚みをそれぞれ約250Åから約200Åとした以外は実施例1と同様にして、発光素子100を形成する。こうして得られた発光素子100に順方向電流を流したところ、第1井戸層108が発する発光強度はほぼ同じであるのに対し、第2井戸層109が発する発光強度は減少する。実施例3および4により、障壁層107の厚みを制御することにより、各発光色光度比を制御して、希望の演色性を有する光源を容易に得ることができる。

【0071】(実施例5) 第2井戸層109の発光スペクトルの半値幅を、実施例1の第2井戸層109よりも広くすること以外は実施例1と同様にして、発光素子を形成する。具体的には、実施例1では800℃に調整した成膜温度を810℃に上げると共に、実施例1で用いたTMIガスをより多く流して、第2井戸層109を成膜する。一般に、成膜温度を上げた場合、主波長ピーク波長は短波長側に移動し、In材料ガスを多くした場合、主ピーク波長は反対に短波長側に移動する。さらにいずれの場合も、こうして成膜された第2井戸層109の発光スペクトル分布は、よりブロードになる。つまり発光スペクトルの半値幅が広がる。上記の通り、成膜温度を800℃から810℃にしたことにより、第2井戸層109の主ピーク波長が短波長側に移動したことを補完するようにTMI流量を上げると、主ピーク波長を変えずに、発光スペクトルの半値幅だけを広くすることができる。図4は本発明の実施例1の発光スペクトル分布を示し、図5は本実施例5の発光スペクトル分布を示す。

【0072】このように成膜温度を上げたり、活性層の厚くしたり、または不純物を添加したりすることによっても、発光スペクトルの半値幅を広げることができ、必要に応じて、これらを適宜組み合わせることもできる。

【0073】(発明の実施の形態2) 本発明の実施の形

態2は、本実施の形態1の発光素子において、第2井戸層の凹凸を第2井戸層のそれよりも大きくするか、または第2井戸層の平均膜厚の半分以下の膜厚を有する凹部領域で占められる度合いを10%以上とすることにより、所望の演色性を有する高効率な発光を可能にするものである。

【0074】実施例1で形成した発光素子の井戸層が有する凹凸の度合いを評価する手法の一例について説明する。

【0075】まず、実施例1で形成した発光素子100の井戸層108、109につき、層厚方向に垂直な方向で切断した断面を走査型電子顕微鏡などにより観察する。図6に示すように、対象となる井戸層107または108は、その平均膜厚の半分以下の膜厚を有する部分的に薄い凹部Dを含む。この凹部Dの長さの総和Sを特定の範囲（長さL）について測定する。そして特定範囲における凹部領域が占める度合い（井戸層が有する凹凸の度合い）Rが、式 $R = S / L$ で求められる。ここで、測定する領域（長さL）は、短くとも1 μ m程度あれば充分であるが、10 μ m以上程度あれば、さらに再現性よく凹凸の度合いRを計測でき、好ましい。また、平均膜厚は、上記測定範囲Lにおける井戸層の平均膜厚を求めれば足り、これを素子全体における井戸層の平均膜厚として用いてもよい。さらに井戸層が有する凹凸の度合いRは、一般に、発光素子全体で一様と考えられるから、任意の切断面において計測することができる。

【0076】ここで実際に、実施例1で形成した発光素子の第2井戸層108について、凹凸の度合いRを計測したところ、0.15であった。

【0077】（実施例6）第2井戸層108を形成する際、実施例1よりわずかに成膜速度を上げたところ、その凹凸の度合いRが0.2となった。つまり、凹凸の度合いRが0.2であることを除いて、実施例1と同様の発光素子を得た。得られた発光素子100によれば、第2井戸層109が発する黄色光の光度に対する、第1井戸層108が発する青色光の光度の比が、実施例1に比べてわずかに大きくなっていた。また、得られた発光素子100の発光効率については、ほぼ同等なものであった。

【0078】（実施例7）青色光を発光する第1井戸層108の成膜温度を変えて、実施例1と同様にして発光素子を形成する。一般に、より高い成膜温度で形成すると、井戸層の凹凸の度合いは大きくなる傾向がある。第1井戸層108を、成膜温度を830℃に設定した後、再び原料ガスとしてTMG、TMI、およびN₂H₄、そしてキャリアガスとして窒素ガスを流して、成膜速度2Å/sで厚さ約30ÅのIn_{0.5}Ga_{0.5}Nを成膜する。これを3回繰り返してInの含有量が少ない第1井戸層108を形成する。

【0079】このとき、第1井戸層108は、第2井戸

層109と同様に両側表面に凹凸を有し、その凹部領域の占める割合Rが0.1となる。また、このとき発光素子100は、実施例1とほぼ同等の良好な発光効率を有する。しかも、青色光と黄色光との光度比に関し、素子間のばらつきが少なく、その結果、再現性よく所望の演色性を有する白色光源を提供することができる。

【0080】（実施例8）図7で示すように、実施例7ではIn_{0.5}Ga_{0.5}Nからなる第1井戸層308が3層であったものを、2層追加して合計5層とすること以外、実施例7と同様にして発光素子300を形成する。このとき第2井戸層309の凹凸は、第1井戸層308よりも大きい。この発光素子300は、実施例2の第1井戸層207が4層のものに比べて更に青みがかって見える。本実施例8の発光素子300の発光効率は、実施例2に比べて向上しており、また各井戸層308、309からの発光の強度も向上しており、特に第1井戸層308からの発光が大きく向上する。加えて、第1および第2井戸層からの発光の強度比も実施例7に比べて安定するので、再現性よく所望の演色性を有する白色発光素子を得ることができる。

【0081】（実施例9）次に、実施例8とは逆に、第1井戸層308の凹凸が、第2井戸層309よりも大きくなるようにして、実施例8と同様の発光素子を形成する。すなわち、凹部領域の占める割合Rの値0.2である第1井戸層308と、凹部領域の占める割合Rの値0.4である第2井戸層309と、を含む発光層を有する発光素子300を形成する。

【0082】この発光素子300は、実施例8に比べてその発光効率が大幅に低下し、また実施例1の発光素子100と比較しても低くなる。さらに、第1および第2井戸層308、309からの光の光度比が発光素子ごとで大きくばらつき、再現性よく所望の演色性を有する白色光を得ることが困難となる。

【0083】（実施例10）実施例8と同様にして、凹部領域の占める割合Rの値が0.05である第1井戸層308と、凹部領域の占める割合Rの値が0.08である第2井戸層309と、を含む活性層306を有する発光素子を形成する。このとき、5層からなる第1井戸層308について、各々層厚を測定すると、いずれもRの値は約0.05であって、第1井戸層308の間でほぼ同等となる。またこのとき、この発光素子300の断面において、第1井戸層308が第2井戸層309より凹凸が明らかに小さいことが容易に観察されるので、必ずしもRの値を精確に計測する必要はない。

【0084】得られた発光素子300は、実施例8と同様に良好な発光を示し、発光効率はわずかに劣るが、許容できるものであり、得られる混色光の演色性も満足できるものである。したがって、第1および第2井戸層の凹凸の大きさよりも、各井戸層間の凹凸の大小関係が、発光素子の特性により大きい影響を与えることが理解さ

れる。

【0085】（発明の実施の形態3）本発明の実施の形態3は、本実施の形態1の発光素子において、第1および第2井戸層上に、 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 < z < 1$) からなる第1障壁層と、 GaN からなる第2障壁層を形成することにより、順方向電圧 V_f を下げるとともに発光効率をあげることを目的とする。

【0086】（実施例11）図8を参照しながら説明する。

【0087】実施例1と同様の装置を用いて、本発明に係る他の実施の形態の発光素子400を形成する。この発光素子400は、概略、活性層401と、これを挟むn型半導体層402およびp型半導体層403から構成される。

【0088】n型半導体層402は、サファイア基板411、 GaN からなるバッファ層412、アンドープの GaN 層413aおよびSiドープの GaN 層413bを交互に5層繰り返し積層してなるn型コンタクト層413、Siドープの $InGaN$ からなるn型クラッド層414を順次積層して形成される。なお、n型コンタクト層413の最上層のSiドープの GaN 層413bの上にn型電極436を形成する。

【0089】p型半導体層403は、Mgドープの $InGaN$ からなる第1のp型クラッド層431、Mgドープの $AlGaN$ からなる第2のp型クラッド層432、Mgドープの GaN からなるp型コンタクト層433を順次積層して構成される。また、pコンタクト層433の上にp型電極434を形成する。

【0090】活性層401は、n型コンタクト層414に近い $InGaN$ からなる第1井戸層416と、p型コンタクト層に近い $InGaN$ からなる第2井戸層420を含む多重量子井戸構造を有する。第2井戸層420は、第1井戸層416よりも大きい In 組成を有する。特に、本実施形態3では、第1井戸層416上に $AlGaN$ からなる第1障壁層417および GaN からなる第2障壁層418を形成する。同様に、第2井戸層420上に $AlGaN$ からなる第1障壁層421および GaN からなる第2障壁層422を形成する。第1障壁層417および421は、主として電子を止めるバリア層として機能し、第2障壁層418および422は、主としてその上に形成させる井戸層の下地層として機能する。このような組成の異なる複数の障壁層を井戸層上に形成することにより、結晶性が向上し V_f が下がる。このような第1および第2の障壁層は、単一量子井戸構造の活性層を有する発光素子、あるいは実質的に同じ In 量を含む多重量子井戸構造の発光素子においても有効で、その結果、高い結晶性、低い V_f を有し、高出力発光可能な発光素子を提供することができる。ただし、主ピーク波長が黄色より長波長側で発光する In を含む窒化物化合物半導体を結晶性良く形成することが難しいため、例え

ば、青色光が発光可能な第1井戸層416と、黄色光が発光可能な第2井戸層420と、を組み合わせた白色発光素子を形成する上で、第1および第2の障壁層は、顕著な効果を奏す。なお、 Al 組成比が0.3以上である第1障壁層は、結晶性の点からもより効果大きい。ここでは、 Al 組成比を0.5としてある。

【0091】この活性層401は、第1井戸層416、第1障壁層417、および第2障壁層418を4周期繰り返し返して成膜し、その上に第2井戸層420、第1障壁層421、および第2障壁層422を積層して、形成される。第1および第2井戸層416、420は、 $InGaN$ からなり、 In 組成比を制御することにより所望の波長を有する光を発することができる。例えば、第1井戸層416が約480nmの主ピーク波長の青色光を発し、第2井戸層420が約580nmの主ピーク波長の黄色光を発するように各々の In 組成比を制御してもよい。第1および第2井戸層416、420は、約30Åの厚さを有し、第1および第2障壁層417、421、および418、422は、約300Åの厚さを有する。

【0092】以下、発光素子400の形成方法について詳述する。

【0093】MOCVD法により窒化物半導体を成膜して発光素子400を形成する。まず、洗浄した2インチのサファイア（C面）よりなる基板411をMOCVD装置の反応容器内にセットする。反応容器を真空化しつつ、 H_2 を流して容器内を H_2 で十分置換した後、基板温度を1050℃まで上昇させて、基板411をクリーニングする。なお、半導体基板411としては、C面サファイアの他、R面、A面を主面とするサファイア、スピネル ($MgAl_2O_4$) のような絶縁性基板、SiC（6H、4H、3Cを含む）、Si、ZnO、GaAs、および GaN などの材料を用いることができる。

【0094】次に、成膜温度を510℃まで下げTMG（トリメチルガリウム）、 NH_3 を原料ガス、 H_2 をキャリアガスとして供給し、厚さ約150Åの GaN 層をサファイア基板411上に成膜して、バッファ層412を形成する。なお、バッファ層412は GaN の他、 AlN や $GaAlN$ などの材料を利用することができる。

【0095】続いて、原料ガスの流入を一旦止め、キャリアガスを流しながら、基板温度を1050℃に上げる。成膜温度が安定した後、原料ガスとしてTMGおよび NH_3 、キャリアガスとして H_2 を流し、アンドープの GaN 層413aをバッファ層412上に積層する。そして、成膜温度を1050℃に維持したまま、原料ガスとしてTMGおよび NH_3 、キャリアガスとして H_2 、不純物ガスとして SiH_4 を流し、Siがドープされた GaN 層413bをアンドープ GaN 層413aの上に成膜する。アンドープの GaN 層413aおよびSiドープの GaN 層413bを交互に5層積層して約4μmのコンタクト層413を形成する。

【0096】続いて、原料ガスの流入を止め、成膜温度800℃に下げる。温度が安定した後、原料ガスとしてTMG、TMI、NH₃、キャリアガスとしてH₂、不純物ガスとしてSiH₄を流し、SiをドーブしたInGa_{0.4}Nからなるクラッド層414をSiドーブのn型Ga_{0.4}N層上413bの上に形成する。

【0097】次に、多重量子井戸構造の活性層401をSiドーブのInGa_{0.4}N層414の上に形成する。MOCVD法を用いて、成膜温度を1050℃にし、原料ガスとしてTMGおよびNH₃、キャリアガスとしてH₂、および不純物ガスとしてSiH₄ガスを流しながら成膜し、n型InGa_{0.4}Nのクラッド層414上に約200Å厚のn型Ga_{0.4}N層415を成膜させる。

【0098】次に、原料ガスの流入を一旦止め、成膜温度を750℃に変更した後、再び原料ガスとしてTMG、TMI、NH₃、キャリアガスとしてN₂を流して、約30Å厚のInGa_{0.4}Nからなる第1井戸層416を成膜する。

【0099】その後、成膜温度を800℃に設定し、原料ガスとしてTMG、TMAおよびNH₃、キャリアガスとしてH₂を流しながら成膜し、約30Å厚の第1障壁層417を成膜する。

【0100】続いて、原料ガスを止め、キャリアガスのみを流し、成膜温度を1000℃に上げる。その後、原料ガスとしてTMGおよびNH₃、キャリアガスとしてH₂を流しながら、約300Å厚のGa_{0.4}Nからなる第2障壁層418を成膜する。

【0101】同様にして、第1井戸層416、第1障壁層417、および第2障壁層418を順に各々4層繰り返して成膜する。

【0102】続いて、同様にして第2井戸層420を形成する。ただし、第1井戸層416については4層形成されるのに対して、第2井戸層420については1層しか形成されない。また、第2井戸層420は、580nmの主ピーク波長を有する光を発するようにIn組成比を制御したこと以外は、第1井戸層416と同様の層構成を有する。

【0103】活性層401を形成した後、InGa_{0.4}Nからなるp型第1のクラッド層431を形成する。p型第1クラッド層431は、Mgドーブのp型InGa_{0.4}Nからなり、厚さ約200Åを有する。MOCVD法を用いて、成膜温度を1050℃に設定し、原料ガスとしてTMG、TMI、およびNH₃、不純物ガスとしてCp₂Mg、キャリアガスとしてH₂を流して、InGa_{0.4}Nからなるp型第1クラッド層431を成膜する。

【0104】p型第1クラッド層431を形成した後、AlGa_{0.4}Nからなるp型第2のクラッド層432を形成する。p型第1クラッド層432は、Mgドーブのp型AlGa_{0.4}Nからなり、厚さ約200Åを有する。成膜温度を1050℃に維持し、原料ガスとしてTMG、TM

A、およびNH₃、不純物ガスとしてCp₂Mg、キャリアガスとしてH₂を流して、AlGa_{0.4}Nからなるp型第1クラッド層を成膜する。

【0105】そして、成膜温度をそのまま1050℃とし、原料ガスとしてTMGおよびNH₃、キャリアガスとしてH₂、そして不純物ガスとしてCp₂Mgを流し、Ga_{0.4}Nからなるp型コンタクト層433を約3000Åの膜厚で第2p型クラッド層432上に形成する。p型コンタクト層433形成後、温度を室温まで下げ、窒素雰囲気中でウェーハを700℃でアニーリング処理し、p型層をさらに低抵抗化する。

【0106】アニーリング処理後、ウェーハを反応容器から取り出し、所望の形状のマスクを最上層の第2p型コンタクト層433の表面に形成し、RIE（反応性イオンエッチング）装置でp型コンタクト層433側からエッチング処理を行い、p型およびn型半導体表面を露出させる。

【0107】エッチング処理後、スパッタリング装置により第2p型コンタクト層433のほぼ全面に膜厚200ÅのNiとAuを含むp型電極434と、p型電極434の上にボンディング用のAuよりなる0.5μmの膜厚のp型パッド電極435と、を形成する。他方、エッチング処理により露出したn型コンタクト層413a上に、WとAlとを含むn型電極436を形成する。最後に、p型電極435の表面を保護するためにSiO₂よりなる絶縁層（図示せず）を保護膜として形成する。こうして形成された窒化物半導体ウェーハをスクライブラインを引いた後、外力により分割し、発光素子として350μm角のLEDチップを完成する。

【0108】発光ダイオードランプのリードフレームは、銀メッキした鉄入り銅で形成される。リードフレームは、一端部において、カップを有するマウント・リードを有し、他端部において、マウント・リードに配置するLEDチップの一方の電極とワイヤを介して電気的に接続するインナー・リードを有する。エポキシ樹脂を用いて、LEDチップをマウント・リード上にダイボンディングした後、直径35μmの金線ワイヤを用いて、LEDチップの各電極にワイヤの一方をボールボンディングし、リードフレームの先端にワイヤの他方をステッチボンディングする。これにより、LEDチップの各電極とインナー・リードおよびマウント・リードとをそれぞれ電気的に接続する。

【0109】こうして得られた発光素子に20mAの順方向電流を流したところ、従来式の発光素子の順方向電圧が3.5Vであったものが、3.0Vまで低下し、実施例1よりも明るい白色光を得ることができる。

【0110】

【発明の効果】本発明は、以上説明したような形態で実施され、以下に記載されるような効果を奏する。

【0111】本発明に係る発光素子の活性層が、異なる

21

発光波長を発する第1および第2井戸層を含むことにより、1つの発光素子により、高効率かつ高輝度に白色系などの混光色を発光できる。また、第1および第2井戸層の積層数比および／または障壁層の厚みを制御することで、演色性をより高めることができる。

【0112】さらに、第2井戸層の凹凸を第1井戸層のそれよりも大きくするか、および／または第2井戸層の平均膜厚の半分以下の膜厚を有する凹部領域で占められる割合を10%以上とすることにより、所望の演色性を有する高効率な発光を可能にする。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態1に係る実施例1の発光素子の模式断面図を示す。

【図2】実施形態1に係る実施例2の発光素子の模式断面図を示す。

【図3】実施例1および実施例2により形成された発光素子が発する光の色度図上の座標を示す。

【図4】実施形態1に係る実施例1の発光素子の発光スペクトル図を示す。

【図5】実施形態1に係る実施例5の発光素子の発光スペクトル図を示す。

【図6】本発明の実施形態2に係る井戸層の凹凸を説明する模式断面図を示す。

【図7】実施形態2に係る実施例8の発光素子の模式断面図を示す。

【図8】本発明の実施形態3に係る実施例11の発光素子の模式断面図を示す。

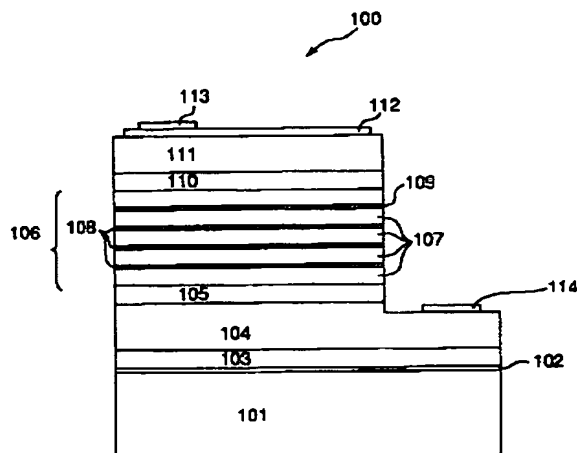
【符号の説明】

100, 200, 300・・・発光素子
101, 201, 301・・・サファイア基板

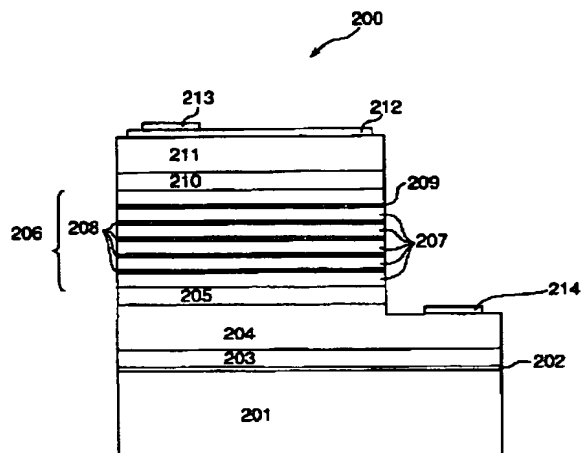
22

102, 202, 302・・・バッファ層
103, 203, 303・・・アンドープ層
104, 204, 304・・・n型コンタクト層
105, 205, 305・・・n型超格子層
106, 206, 306・・・活性層
107, 207, 307・・・障壁層
108, 208, 308・・・第1井戸層
109, 209, 309・・・第2井戸層
110, 210, 310・・・p型クラッド層
111, 211, 311・・・p型コンタクト層
112, 212, 312・・・p型透光性電極
113, 213, 313・・・p型台座電極
114, 214, 314・・・n型電極
401・・・活性層
402・・・n型半導体層
403・・・p型半導体層
411・・・基板
412・・・バッファ層
413・・・n型コンタクト層
414・・・n型クラッド層
416・・・第1井戸層
420・・・第2井戸層
417, 421・・・第1障壁層
418, 422・・・第2障壁層
431・・・p型第1クラッド層
432・・・p型第2クラッド層
433・・・p型コンタクト層
434・・・p型透光性電極
435・・・p型台座電極

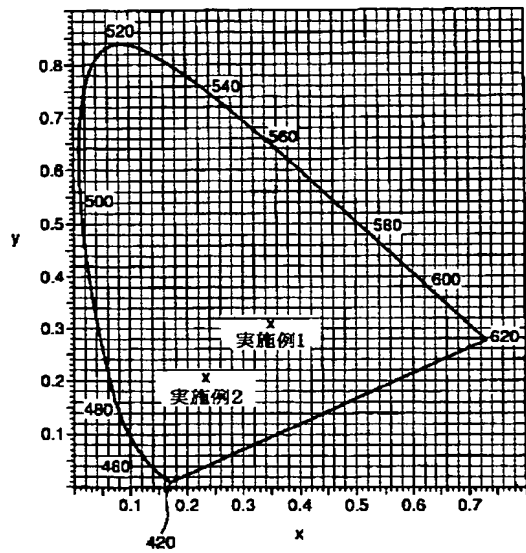
【図1】



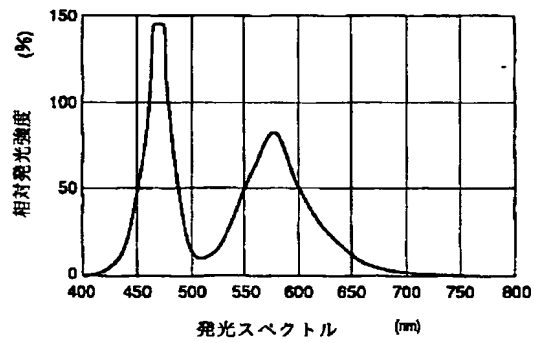
【図2】



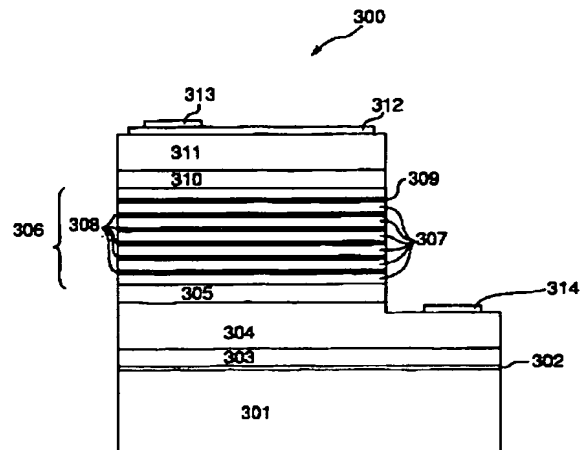
【図3】



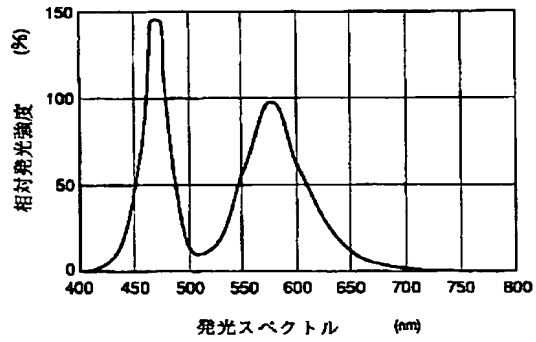
【図5】



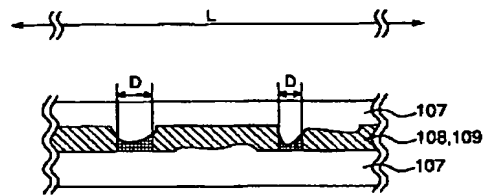
【図7】



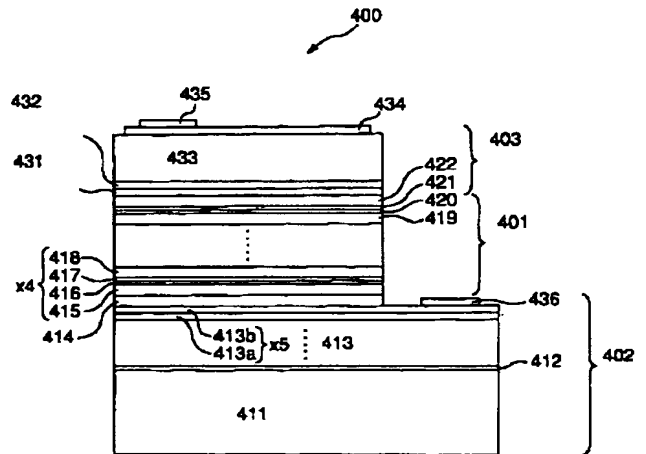
【図4】



【図6】



【図8】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.